

[home](#)[searching](#) ▾[patents](#) ▾[documents](#) ▾[toc journal watch](#) ▾**Format Examples****US Patent**

US6024053 or 6024053

**US Design Patent**

D0318249

**US Plant Patents**

PP8901

**US Reissue**

RE35312

**US SIR**

H1523

**US Patent Applications**

20020012233

**World Patents**

WO04001234 or WO2004012345

**European**

EP1067252

**Great Britain**

GB2018332

**German**

DE29980239

**Nerac Document Number (NDN)**

certain NDN numbers can be used for patents

[view examples](#)

6.0 recommended  
Win98SE/2000/XP

**Patent Ordering****Enter Patent Type and Number:** optional reference note



☐ Add patent to cart automatically. If you uncheck this box then you must *click on* Publication number and view abstract to Add to Cart.

0 Patent(s) in Cart

**Patent Abstract**[Add to cart](#)

GER 2000-11-02 : 19919469 **Method about the Plasmaoatzen of silicon**

**INVENTOR(S)**- Laermer, Franz, Dr. 70437 Stuttgart DE

**INVENTOR(S)**- Schilp, Andrea 73525 Schwoabisch GmoOnd DE

**INVENTOR(S)**- Elsner, Bernhard 70806 Kornwestheim DE

**APPLICANT(S)**- Robert Bosch GmbH 70469 Stuttgart DE

**PATENT NUMBER**- 19919469/DE-A1**PATENT APPLICATION NUMBER**- 19919469**DATE FILED**- 1999-04-29**DOCUMENT TYPE**- A1, DOCUMENT LAID OPEN (FIRST PUBLICATION)**PUBLICATION DATE**- 2000-11-02**INTERNATIONAL PATENT CLASS**- C23F00400; H01L0213065**PATENT APPLICATION PRIORITY**- 19919469, A**PRIORITY COUNTRY CODE**- DE, Germany, Ged. Rep. of**PRIORITY DATE**- 1999-04-29**FILING LANGUAGE**- German**LANGUAGE**- German NDN- 203-0449-9638-7

Method about the Plasmaoatzen, especially to the anisotropen Plasmaoatzen, of lateral defined structures are proposed in a silicon substratum under application of a process gas. A passivierendes material is secreted on that occasion before und/oder during the etches on the side walls

of lateral defined structures at least occasionally. In a first procedure, it is proposed, the process gas as fluoride-delivering caustic gas at least one of the connections, selected to add 3, BrF 3 or IF 5 from the group ClF. In a second procedure, consuming additive NF is added to the process gas as the passivierende material at least occasionally in 3. Finally, an easy and easily ionisierbares gas, especially H 2, He or Ne, is added to the process gas in a third procedure at least occasionally. The three proposed procedures can also be combined.

**EXEMPLARY CLAIMS-** 1. Method about the Plasmaoatzen, especially to the anisotropen Plasmaoatzen, from lateral defined structures in a silicon substratum, with a process gas, with what a passivierendes material is secreted at least at least before und/oder during the etches on the side walls of lateral defined structures at least occasionally, through it marked, that a fluoride-delivering caustic gas is added the process gas at least at times, that at least one of the connections, selected from the group ClF3, BrF3 or IF5 contains. 2. Method for claim 1, marked by it, that still selected the process gas a gas as a gas forming the passivierende material at least of C3F6, C4F10, C3F8 or C2F6 from the group SiF4, C4F8, at least occasionally is added. 3. Method for claim 1, marked by it, that at least occasionally at least of N2O, NO, of NOx the process gas a gas, selected from the group O2, CO2, Ar, NO2 or N2 are added. 4. Method for claim 1, marked by it, that the passivierende material, especially SiO2 or a teflon-good material, is added consuming additive, especially CHF3, of CF4, C2F6, of C3F6, C4F8, of C4F10, C3F8, a Fluoralkan or NF3 to the process gas at least occasionally at least one. 5. Method for claim 1, marked by it, that an easy and easy to ionize gas, especially H2, He or Ne, is added to the process gas at least occasionally. 6. Method about the Plasmaoatzen, especially to the anisotropen Plasmaoatzen, from lateral defined structures in a silicon substratum, with a process gas, with what a passivierendes material is secreted at least at least before und/oder during the etches on the side walls of lateral defined structures at least occasionally, through it marked that at least occasionally the process gas as one the passivierende material, especially SiO2 or a teflon-good material, consuming additive NF3 is added. 7. Method for claim 6, marked by it, that a fluoride-delivering caustic gas is added the process gas at least occasionally, that at least one of the connections,

NO-DESCRIPTORS

Nerac, Inc. One Technology Drive . Tolland, CT  
Phone (860) 872-7000 Fax (860) 875-1749

©1995-2003 All Rights Reserved . [Privacy Statement](#) . [Report a Problem](#)



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 199 19 469 A 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
C 23 F 4/00

21 Aktenzeichen: 199 19 469.6  
22 Anmeldetag: 29. 4. 1999  
43 Offenlegungstag: 2. 11. 2000

DE 199 19 469 A 1

71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Laermer, Franz, Dr., 70437 Stuttgart, DE; Schilp,  
Andrea, 73525 Schwäbisch Gmünd, DE; Elsner,  
Bernhard, 70806 Kornwestheim, DE

56 Entgegenhaltungen:  
DE 197 06 682 C2  
DE 42 41 045 C1  
DE 343 17 623 A1  
DE 196 41 288 A1  
DE 42 02 447 A1  
EP 04 14 373 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Plasmaätzen von Silizium

57 Es werden Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat unter Verwendung eines Prozeßgases vorgeschlagen. Dabei wird vor und/oder während des Ätzens auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig ein passivierendes Material abgeschieden. In einem ersten Verfahren wird vorgeschlagen, dem Prozeßgas als fluorlieferndes Ätzgas mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$  zuzusetzen. In einem zweiten Verfahren wird dem Prozeßgas zumindest zeitweilig als das passivierende Material verzehrendes Additiv  $\text{NF}_3$  zugesetzt. Schließlich wird in einem dritten Verfahren dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht ionisierbares Gas, insbesondere  $\text{H}_2$ , He oder Ne, zugesetzt. Die drei vorgeschlagenen Verfahren können auch kombiniert werden.

DE 199 19 469 A 1



## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung betrifft Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von Silizium nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

## Stand der Technik

Aus DE 197 06 682 C2 ist ein Verfahren zum anisotropen Hochratenplasmaätzen von Silizium bekannt, wobei zur Seitenwandpassivierung als passivierendes Material  $\text{SiO}_2$  verwendet wird, das aus dem Zusatz von  $\text{SiF}_4$  und  $\text{O}_2$  zur eigentlichen Ätzchemie von  $\text{SF}_6$  gebildet wird. Gleichzeitig werden dem Ätzgas als  $\text{SiO}_2$ -verzehrende Additive ("Scavenger") kontinuierlich oder getaktet  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$  oder  $\text{C}_4\text{F}_8$  zugesetzt, um auf dem Strukturgrund befindliches  $\text{SiO}_2$  selektiv abzutragen.

Ein weiteres Hochratenätzverfahren für Silizium wird beispielsweise in DE 42 41 045 C2 vorgeschlagen, wobei eine hochdichte Plasmaquelle mit induktiver Hochfrequenzanregung (ICP-Quelle) oder einer speziellen Mikrowellenanregung (PIE-Quelle) dazu benutzt wird, um aus einem fluorliefernden Ätzgas Fluorradikale und aus einem tetrafluoräthyl- oder perfluoräthyl-liefernden Passiviergas  $(\text{CF}_2)_x$ -Radikale freizusetzen, die ein tetrafluoräthyl-, passivierendes Material bilden, wobei Ätz- und Passiviergas alternierend eingesetzt werden.

Schließlich ist aus der Anmeldung DE 43 17 623 A1 bekannt, ein Gemisch aus  $\text{SF}_6$  oder einem anderen fluorliefernden Ätzgas und  $\text{CHF}_3$  oder einem anderen, tetrafluoräthyl- bildenden Passiviergas, einem hochdichten Plasma auszusetzen, so daß die Fluorradikale den Siliziumstrukturgrund ätzen und gleichzeitig die tetrafluoräthyl- Monomere ein passivierendes Material auf den Strukturseitenwänden bilden, und somit für ein anisotropes Verhalten des Ätzprozesses sorgen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, bestehende Plasmaätzverfahren für Silizium dahingehend zu verbessern, daß durch Einsatz neuer Prozeßgase höhere Ätzraten, geringere Profilabweichungen beim Ätzen und eine bessere Umweltverträglichkeit des Prozeßgases gewährleistet sind.

## Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäßen Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen der unabhängigen Ansprüche haben gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, daß damit eine Verbesserung der Profilkontrolle und eine höhere Ätzrate bei Plasmaätzverfahren von Silizium, insbesondere bei anisotropen Hochratenplasmaätzverfahren, erreicht wird. Gleichzeitig sind die eingesetzten Prozeßgase insbesondere hinsichtlich des Treibhauseffektes wesentlich umweltverträglicher als bisher eingesetzte Ätzgase oder Additive und damit auch langfristig verfügbar.

Weiterhin werden bei der Verwendung der fluorliefernden Ätzgase  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$  schon bei relativ geringer Plasmaanregung große Fluormengen freigesetzt, so daß diese sehr effizient hinsichtlich der Anregung und der erreichten hohen Siliziumätzraten sind und gleichzeitig nur geringe Anforderungen an den Leistungsbedarf einer beispielsweise induktiven Plasmaquelle oder einer Mikrowellen-Plasmaquelle stellen. Weiterhin ist sehr vorteilhaft, daß insbesondere  $\text{ClF}_3$  beim Zerfall zu  $\text{ClF}$  oder  $\text{BrF}_3$  beim Zerfall zu  $\text{BrF}$  leichter und in größerer Zahl Fluorradikale freisetzt, als das bekannte  $\text{SF}_6$  über dessen vorrangigen Zerfallskanal zu  $\text{SF}_4$ . Überdies benötigt die Reaktion von  $\text{ClF}_3$  zu  $\text{ClF}$  und  $2\text{F}^*$

bzw.  $\text{BrF}_3$  beim Zerfall zu  $\text{BrF}$  und  $2\text{F}^*$  auch eine sehr viel geringere Aktivierungsenergie als die Reaktion von  $\text{SF}_6$  zu  $\text{SF}_4$  und  $2\text{F}^*$ . Somit treten infolge geringerer benötigter Hochfrequenz- bzw. Mikrowellenleistungen an der Plasmaquelle zur Erzeugung der benötigten großen Fluorradikalmengen dort sehr vorteilhaft auch weniger Störeffekte auf, die im weiteren die erzeugten Ätzprofile beeinträchtigen könnten.

Weitere Vorteile resultieren aus der Tatsache, daß bei Verwendung von Interhalogenfluoriden als fluorliefernde Ätzgase keine Schwefelausscheidungen im Abgasbereich der Ätzanlage auftreten können, die andernfalls beseitigt bzw. unterdrückt werden müssen.

Schließlich sind insbesondere  $\text{ClF}_3$  und  $\text{BrF}_3$  chemisch instabil und hydrolysieren an Luft mit der Luftfeuchtigkeit leicht zu  $\text{HF}$  und  $\text{HCl}$  bzw.  $\text{HBr}$ . Daher entsteht mit diesen Verbindungen oder Gasen kein Treibhauseffekt, so daß ihre großtechnische Verfügbarkeit unter Umweltgesichtspunkten auch langfristig gesichert ist, was beispielsweise für  $\text{SF}_6$  nicht uneingeschränkt gilt.

Das als das passivierende Material, insbesondere  $\text{SiO}_2$  oder ein tetrafluoräthyl- Material, verzehrende Additiv im Prozeßgas zeitweilig eingesetzte  $\text{NF}_3$  hat gegenüber aus dem Stand der Technik bekannten Additiven auf Basis von Fluor-Kohlenstoff-Verbindungen den Vorteil, daß ein wesentlich stärkerer Abtrag von dielektrischen Schichten, die den Strukturgrund maskieren, erreicht wird, so daß dieses im jeweiligen Plasmaätzverfahren in gegenüber bekannten Additiven deutlich geringerer Menge eingesetzt werden muß und damit auch insgesamt geringere negative Auswirkungen auf den Gesamtprozeß, insbesondere hinsichtlich einer damit zwangsläufig verbundenen Verdünnung der übrigen aktiven Reaktanten, hat.

Weiter hat das Additiv  $\text{NF}_3$  im Gegensatz zu Fluorkohlenwasserstoffen ( $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  usw.) dank schwacher Hydrolysewirkung eine relativ kurze Lebensdauer an Luft, so daß ebenfalls kein Treibhauseffekt auftritt.  $\text{NF}_3$  wird in der Atmosphäre bereits nach kurzer Zeit durch Luftfeuchtigkeit gebunden. Im Gegensatz zu den als Treibhausgasen wirkenden Fluorkohlenwasserstoffen ist also auch hier die großtechnische Verfügbarkeit langfristig gesichert.

Die Zugabe eines leichten und leicht ionisierbaren Gases, d. h. eines Gases mit geringer Atommasse, wie  $\text{He}$ ,  $\text{H}_2$  oder  $\text{Ne}$ , aus dem leicht positiv geladene Ionen erzeugbar sind, zu dem Ätzgas hat den Vorteil, daß damit Aufladungseffekte, die sich insbesondere an Übergängen zwischen dem elektrisch leitfähigen Silizium und elektrisch isolierenden Dielektrika, die beispielsweise als Maskenmaterial oder vergrabene Opferschichten verwendet werden, störend bemerkbar machen, erheblich vermindert werden. Somit wird eine deutliche Profilverbesserung der erzeugten Ätzprofile, insbesondere beim Übergang von Silizium auf eine vergrabene Oxidschicht, eine Polymerstoppschicht oder am Maskenrand, d. h. am Übergang von der dielektrischen Maskierschicht (Photolack oder Hartstoffmaske aus  $\text{SiO}_2$ ) zu dem zu ätzenden Silizium, erzielt.

Dieser Aufladungseffekt beruht darauf, daß negativ geladene Elektronen, die ungerichtet auf die Waferoberfläche einwirken, vorzugsweise auf den Seitenwänden der zu ätzenden Struktur landen, so daß die Seitenwände relativ zum Ätzgrund negativ aufgeladen werden. Innerhalb des elektrisch leitfähigen Siliziums sind diese Elektronen weitgehend frei beweglich, während auf dem elektrisch isolierenden Ätzgrund befindliche positiv geladene Ionen dort fixiert sind. Insgesamt ziehen somit die beweglichen Elektronen in die Übergangszone zwischen Silizium und Dielektrikum, so daß dort große elektrische Feldstärken entstehen, die im sta-

tionären Fall schließlich dazu führen, daß im Mittel genauso viele Ionen zur Seitenwand gelangen, wie zuvor Elektronen, weil sie von entsprechend großen elektrischen Feldern zur Seitenwand abgelenkt werden. Dieser Effekt ist als "Notching Phänomen" in die Literatur eingegangen und führt zur Ausbildung großer, in die Seitenwand eingetätzter Taschen.

Die Zugabe eines leichten, leicht ionisierbaren Gases wie beispielsweise He vermindert diese Taschenbildung sehr vorteilhaft erheblich.

Ein anderes Problem, das auf elektrische Aufladungseffekte zurückzuführen ist, und das durch die Zugabe des leichten, leicht ionisierbaren Gases ebenfalls gelöst wird, tritt am oberen Maskenrand auf. Die Oberfläche einer dielektrischen Maskierschicht auf dem Siliziumwafer wird durch sogenanntes "Self-Biasing" vielfach als Folge einer an einer üblichen Substratelektrode angelegten hochfrequenten Spannung negativ aufgeladen ("DC-Bias"). Diese Aufladung erklärt sich aus der unterschiedlichen Beweglichkeit von Elektronen und Ionen, d. h. um im Zeitmittel genauso viele der unbeweglicheren Ionen wie der hochbeweglichen Elektronen zur Oberfläche zu ziehen, muß sich dort eine negative elektrische Vorspannung aufbauen. Wird nun in den Öffnungen einer Maskierschicht in das Silizium hineingetätzt, führen diese Aufladungen der Oberfläche gegenüber der neu erzeugten Siliziumseitenwand zur Konzentration von Elektronen im Übergang von Silizium zur dielektrischen Maskierschicht. Durch Ionenablenkung werden daher verstärkt Ionen in diesen oberen Teil des geätzten Siliziumtrenchgrabens gelenkt, was dort ebenfalls zur Ausbildung von Profilunregelmäßigkeiten oder Taschen führt. Schließlich hat die Zugabe eines leichten, leicht ionisierbaren Gases zu dem Ätzgas den Vorteil, daß der aus DE 42 41 045 bekannte Seitenwandfilmtransportmechanismus dahingehend verbessert wird, daß mehr Polymerabtrag vom Ätzgrund und weniger Polymerabtrag von den Seitenwänden erfolgt, die Selektivität also verbessert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So ist es besonders vorteilhaft, daß die erfindungsgemäßen Verfahren auch untereinander kombiniert werden können, wobei die Vorteile der einzelnen Verfahren jeweils weitgehend erhalten bleiben. Im übrigen kann es vorteilhaft sein, dem Ätzgas, dem das passivierende Material bildenden Gas, insbesondere dem  $\text{SiF}_4$ , dem Additiv oder einem als Reaktionspartner verwendeten Gas wie beispielsweise Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxid oder einem Stickoxid zusätzlich zur Verdünnung Argon zuzusetzen.

Insgesamt hängt bei den beschriebenen Mechanismen die Größe der elektrischen Felder, die benötigt werden, um das dynamische Gleichgewicht zwischen Ionen- und Elektroneneinfall herzustellen, unmittelbar davon ab, wie leicht sich ankommende Ionen durch elektrische Felder ablenken lassen. Es ist daher offensichtlich, daß relativ schwere Ionen erst durch relativ große Felder abgelenkt werden, während relativ leichte Ionen schon bei relativ kleinen Feldstärken abgelenkt werden und den Ladungsausgleich vollziehen können. Durch das Einbringen einer Ionensorte von kleiner Atommasse wird insofern sehr vorteilhaft erreicht, daß sich nur noch kleine Feldstärken in den beschriebenen Bereichen aufbauen und bereits bei diesen kleinen Feldstärken genügend viele der leichten Ionen so abgelenkt werden, daß sie den Ladungsausgleich vollziehen können.

Die ebenfalls im Ätzverfahren, beispielsweise als ionisierte Moleküle oder Molekülbruchstücke des Ätzgases oder Additives, auftretenden schweren Ionen werden aufgrund ihrer Masse und damit verbundenen Trägheit von diesen elektrischen Feldern nicht mehr abgelenkt, sondern fliegen

ungehindert durch bis zum Ätzgrund, wo sie vorteilhaft beispielsweise eine Ätzreaktion oder einen Ätzgrundpolymerabtrag vorantreiben können. Es findet somit durch die Zugabe des leichten, leicht ionisierbaren Gases insgesamt sehr vorteilhaft eine Trennung zwischen leichten Ionen, welche den Ladungsausgleich durchführen, und schweren Ionen statt, welche vorzugsweise auf den Ätzgrund einwirken.

Neben dem Edelgas Helium als leichtes Gas ist bei einigen Plasmaätzprozessen auch die Verwendung von Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) vorteilhaft, sofern dieser mit der Prozeßchemie verträglich ist. Wasserstoff hat als Molekül in ionisierter Form eine Atommasse von lediglich 2 und dissoziiert überdies im Plasma besonders leicht zu positiv geladenen Atomen mit der Atommasse 1.

#### Ausführungsbeispiele

Das erste Ausführungsbeispiel geht zunächst vom einem anisotropen Plasmaätzprozeß mit einer hochdichten Plasmaquelle, beispielsweise einer ICP-Plasmaquelle, einer ECR-Plasmaquelle oder einer PIE-Plasmaquelle aus, wie er aus DE 197 06 682 C2 bekannt ist.

Anstelle des dort eingesetzten fluorliefernden Ätzgases  $\text{SF}_6$  oder  $\text{NF}_3$  wird jedoch dem Prozeßgas als Ätzgas in einem ersten Ausführungsbeispiel gasförmiges Chlortrifluorid  $\text{ClF}_3$ , Bromtrifluorid  $\text{BrF}_3$  oder Iodpentafluorid  $\text{IF}_5$  oder eine Mischung dieser Gase zugesetzt. Bevorzugt wird Chlortrifluorid oder Bromtrifluorid eingesetzt, das direkt über einen Massenflußregler zugeführt werden kann, da es einen ausreichend hohen Dampfdruck besitzt. Im Fall der Verwendung von flüssigen Bromtrifluorid wird zu dessen Überführung in die Gasphase dessen Temperatur vorzugsweise auf oberhalb von  $20^\circ\text{C}$  gehalten. Es ist dabei weiter möglich, zusätzlich in an sich bekannter Weise ein inertes Trägergas, beispielsweise Argon, beizumischen. Anstelle von Argon kann auch Helium verwendet werden.

Weiter werden die aus DE 197 06 682 C2 bekannten  $\text{SiO}_2$ -verzehrenden Additive ( $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  usw.) durch Stickstofftrifluorid  $\text{NF}_3$  ersetzt, das dem Prozeßgas kontinuierlich oder bevorzugt getaktet zugesetzt wird. Dieses Additiv dient insbesondere einer beschleunigten Entfernung des passivierenden Materials vom Ätzgrund.

$\text{NF}_3$  zerfällt unter nicht zu intensiver Plasmaanregung, d. h. typischen ICP-Anregungsbedingungen, vorrangig in radikalische Bruchstücke  $\text{NF}_x$  (mit  $x = 1, 2$ ), welche äußerst aggressiv gegenüber dielektrischen Materialien reagieren und somit beispielsweise gegenüber  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}$ ,  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  (Siliziumoxynitrid) oder teflonartigen Materialien als sehr effiziente abtragende Reaktionspartner wirken.

Die dabei gleichzeitig freigesetzten Fluormengen aus der Dissoziation von  $\text{NF}_3$  fallen gegenüber den Fluormengen aus den fluorliefernden Ätzgasen, beispielsweise  $\text{ClF}_3$  oder  $\text{BrF}_3$ , kaum ins Gewicht und tragen außerdem zur Siliziumätzreaktion bei.

Die Passivierung der Strukturseitenwände im Prozeß wird gegenüber der Lehre der DE 197 06 682 C2 unverändert durch den zumindest zeitweiligen Zusatz von  $\text{SiF}_4$  und einem Reaktionspartner, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  oder  $\text{N}_2$  zu dem Prozeßgas erreicht. Bevorzugt ist Sauerstoff.

Hinsichtlich der weiteren Prozeßparameter (insbesondere Gasflüsse, Prozeßdrücke, Ionenenergie und eingestrahlte Plasmaleistungen), sei auf die entsprechenden, bereits aus DE 197 06 682 C2 bekannten Parameter verwiesen, die weitgehend beibehalten werden können.

Eine bevorzugte Zusammensetzung des Prozeßgases ausgehend von dem aus DE 197 06 682 C2 bekannten Verfahren ist beispielsweise, durch folgende Rezepturen gegeben:



60 sccm  $\text{ClF}_3$  + 50 sccm  $\text{O}_2$  + 50 sccm  $\text{SiF}_4$  + 70 sccm He + 5 sccm  $\text{NF}_3$  bei konstanter Zugabe, 20 mTorr Druck, 1000 Watt Hochfrequenzleistung bei einer Frequenz von 13.56 MHz an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode oder:

100 sccm  $\text{BrF}_3$  + 50 sccm  $\text{O}_2$  + 50 sccm  $\text{SiF}_4$  + 70 sccm He; zusätzliche Zugabe von 30 sccm  $\text{NF}_3$  periodisch alle 30 bis 60 Sekunden, vorzugsweise alle 45 Sekunden über eine Zeitdauer von jeweils 5 Sekunden, Druck 20 mTorr, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird zunächst von einem Verfahren ausgegangen, wie es aus DE 42 41 045 C1 bekannt ist. In diesem bekannten Verfahren wird eine anisotrope Ätzung von Silizium mittels eines Plasmas, insbesondere mittels eines Mikrowellenplasmas oder eines über eine induktive Plasmaquelle erzeugten Plasmas, vorgenommen, wobei der anisotrope Ätzvorgang in separaten, jeweils alternierend aufeinanderfolgenden Ätz- und Polymerisations- bzw. Passivierschritten getrennt voneinander durchgeführt wird, welche unabhängig voneinander gesteuert sind. Dabei wird während der Polymerisations-schritte auf eine durch eine Ätzmaske definierte laterale Begrenzung von Strukturen ein Polymer aufgebracht, das während der nachfolgenden Ätzschritte jeweils wieder abgetragen wird.

Dazu wird dem Prozeßgas zumindest zeitweilig, insbesondere während der Ätzschritte,  $\text{SF}_6$  als fluorlieferndes Ätzgas zugesetzt. Während der Polymerisationsschritte wird dem Prozeßgas weiter, insbesondere im Fall einer induktiv gekoppelten Plasmaquelle, Octafluorocyclobutan  $\text{C}_4\text{F}_8$  oder Hexafluorpropen  $\text{C}_3\text{F}_6$  als ein tetrafluoridbildende Monomere lieferndes Passiviergas zugesetzt. Dieses Passiviergas baut insbesondere auf den Seitenwänden der geätzten Strukturen als passivierendes Material einen tetrafluorartigen Schutzfilm auf, der diese vor einem Ätzangriff durch Fluorradikale schützt.

Dieses in soweit an sich bekannte Verfahren wird erfindungsgemäß dadurch verbessert, daß dem Prozeßgas zusätzlich zumindest zeitweilig Helium in Form von  $\text{He}^4$  oder  $\text{He}^3$  zugesetzt wird, wobei dieser Zusatz entweder kontinuierlich sowohl während der Dauer der Ätzschritte, als auch während der Dauer der Passivierschritte erfolgt, da Helium als Inertgas die Prozeßchemie in keinsten Weise beeinflusst. Durch die Zugabe des Heliums wird in beiden Schritten gewährleistet, daß unerwünschte Aufladungen reduziert und ein schädlicher Ioneneinfall auf die Seitenwände geätzter Strukturen, wie erläutert, permanent unterdrückt oder reduziert wird.

Alternativ kann der Heliumsatz jedoch auch nur während der Ätzschritte oder nur während der Polymerisations- bzw. Passivierschritte erfolgen, d. h. der Heliumfluß wird wie das Ätz- bzw. Passiviergas getaktet, wobei der Einsatz von Helium zweckmäßig speziell während der Ätzschritte zugesetzt wird, da es gerade beim Weiterätzen darauf ankommt, den Aufbau stärkerer Streufelder in den erzeugten Trenchgräben bereits im Entstehen wirksam zu unterdrücken. Bevorzugt wird das Helium in beiden Prozeßschritten durchgehend mit konstantem Gasfluß zugeführt.

Ein geeigneter Heliumgasfluß liegt üblicherweise zwischen 10 und 100 sccm, es sind aber auch kleinere oder insbesondere größere Flüsse möglich, je nach Saugleistung der angeschlossenen Turbomolekularpumpe der Ätzanlage.

Zur Unterstützung des Abtrags des passivierenden Materials vom Ätzgrund kann auch in diesem Fall zumindest zeitweise  $\text{NF}_3$  als eine das passivierende Material verzehrende Substanz eingesetzt werden.

Eine bevorzugte Zusammensetzung des Prozeßgases im Fall der Plasmaerzeugung über eine induktiv gekoppelte Plasmaquelle (ICP-Quelle) ist beispielsweise, ausgehend von DE 42 41 045 C1, durch folgende Rezeptur gegeben:

5 Passivierschritt:

100 sccm  $\text{C}_3\text{F}_6$  oder  $\text{C}_4\text{F}_8$  + 50 sccm He über 5 Sekunden bei 12 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, keine Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

10 Ätzschritt:

130 sccm  $\text{SF}_6$  + 20 sccm  $\text{O}_2$  + 50 sccm He über 9 Sekunden bei 20 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

15 Weitere Ausführungsbeispiele für die Prozeßgaszusammensetzung, ausgehend von dem Verfahren gemäß DE 42 41 045 C2, sind gegeben durch die folgenden Rezepturen, bei denen in den Ätzschritten jeweils das fluorliefernde Ätzgas  $\text{SF}_6$  durch  $\text{ClF}_3$  oder  $\text{BrF}_3$  ersetzt ist. Zusätzlich wird dem Prozeßgas in den Ätzschritten als das passivierende Tetrafluoridmaterial insbesondere vom Ätzgrund bevorzugt abtragendes Additiv zumindest zeitweise  $\text{NF}_3$  zugesetzt. Die Verfahrensparameter in den Passivierschritten werden dabei gegenüber dem vorausgehenden Ausführungsbeispiel unverändert beibehalten.

Ätzschritt:

200 sccm  $\text{ClF}_3$  + 10 sccm  $\text{NF}_3$  + 50 sccm He über 10 Sekunden bei 20 mTorr Druck, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

oder:

Ätzschritt:

200 sccm  $\text{ClF}_3$  + 50 sccm He über 10 Sekunden bei 20 mTorr Druck, zusätzlich 30 sccm  $\text{NF}_3$  während der ersten 3 Sekunden der Ätzschritte, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

Weitere Rezepturen setzen anstelle von  $\text{NF}_3$  alternativ  $\text{O}_2$  als das tetrafluoridartige, passivierende Material insbesondere vom Ätzgrund bevorzugt abtragende Additiv ein. Da Sauerstoff deutlich weniger aggressiv agiert als die im Plasma erzeugten  $\text{NF}_3$ -Bruchstücke, muß dem Ätzgas zumindest zeitweise ein wesentlich höherer Sauerstofffluß zugesetzt werden.

45 Der deutlich geringere Sauerstoffanteil, der in einer vorstehenden Rezeptur dem  $\text{SF}_6$  als Ätzgas zugesetzt worden war, diente dort nur zur Unterdrückung einer Schwefelausscheidung im Abgasbereich. Diese Schwefelausscheidung tritt jedoch bei der Verwendung von  $\text{ClF}_3$  als Ätzgas nicht auf, so daß der dem  $\text{ClF}_3$  zumindest vorübergehend zugesetzte Sauerstoffanteil voll für den Abtrag des passivierenden Materials insbesondere vom Ätzgrund zur Verfügung steht. Bei weiter hinsichtlich der Zusammensetzung und der Verfahrensparameter unveränderten Passivierschritten ergibt sich damit als weitere vorteilhafte Rezeptur für die Ätzschritte:

Ätzschritt:

250 sccm  $\text{ClF}_3$  + 50 sccm He über 10 Sekunden, zusätzlich 100 sccm  $\text{O}_2$  während der ersten 4 Sekunden, Druck 30 mTorr, 1200 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

oder:

Ätzschritt:

65 200 sccm  $\text{ClF}_3$  + 50 sccm He + 50 sccm  $\text{O}_2$  über 10 Sekunden, Druck 30 mTorr, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.



Hinsichtlich weiterer Prozeßparameter sei auf die entsprechenden, bereits aus DE 42 41 045 C1 bekannten Parameter verwiesen, die im übrigen weitgehend beibehalten werden können.

Sofern Wasserstoff als leichtes, leicht ionisierbares Gas dem Prozeßgas zugegeben werden soll, ist dieser Zusatz in einem Verfahren auf Basis der DE 42 41 045 C1 lediglich während der Passivierschritte möglich. Ein Wasserstoffzusatz zum Ätzgas würde mit den freigesetzten Fluorradikalen zu HF reagieren und diese dadurch neutralisieren, d. h. diese Fluorradikale stehen anschließend für eine Ätzreaktion mit Silizium nicht mehr zur Verfügung. Ferner besteht wegen des Sauerstoffanteils im Ätzschritt Explosionsgefahr durch Knallgasbildung im Abgasbereich der Ätzanlage. Schließlich muß der zugegebene Wasserstoff auch im Passivierschritt in der Passivierchemie berücksichtigt werden. Da das als Passiviergas in dem Prozeßgas zeitweilig, insbesondere während der Passivierschritte, eingesetzte Octafluorocyclobutan  $C_4F_8$  oder Hexafluorpropen  $C_3F_6$  durch Wasserstoffzusatz an Fluor verarmt, ist es in diesem Fall daher zweckmäßig, auf ein fluorreicheres Passiviergas auszuweichen. Dazu sind vor allem Perfluoralkane wie beispielsweise  $C_2F_6$ ,  $C_3F_8$  oder bevorzugt  $C_4F_{10}$  geeignet.

Auf diese Weise wird über den Wasserstoffzusatz in den Passivierschritten einerseits ein überschüssiger Fluoranteil unter HF-Bildung gebunden und die gewünschte Polymerisationswirkung erreicht, und andererseits steht stets genügend Wasserstoff für eine Ionisationsreaktion zur Verfügung, um Aufladungserscheinungen zu reduzieren.

In Fall der Wasserstoffzugabe zum Prozeßgas geeignete Prozeßparameter sind beispielsweise, ausgehend von einem Verfahren nach Art der DE 42 41 045 C1, durch die folgende Rezeptur gegeben, wobei durch geeignete Maßnahmen im Abgasbereich sicherzustellen ist, daß keine Explosionsgefahr entsteht. Dazu ist beispielsweise eine an sich bekannte Vorrichtung zur katalytischen Wasserstoffumsetzung zwischen einer im Abgasbereich eingesetzten Turbomolekularpumpe und einer Drehschieberpumpe vorgesehen.

Passivierschritt:  
100 sccm  $C_4F_{10}$  + 70 sccm  $H_2$  über 5 Sekunden bei 12 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung der Plasmaquelle, keine Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

Ätzschritt:  
130 sccm  $SF_6$  + 20 sccm  $O_2$  über 9 Sekunden bei 20 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

Eine weitere Rezeptur sieht bei gegenüber dem Vorstehenden unveränderten Passivierschritten vor,  $SF_6$  als fluorlieferndes Ätzgas durch  $BrF_3$  zu ersetzen, dem als das passivierende Teflonmaterial insbesondere vom Ätzgrund bevorzugt abtragendes Additiv zumindest zeitweise  $NF_3$  zugesetzt wird.

Ätzschritt:  
150 sccm  $BrF_3$  + 50 sccm Ar oder Helium (als inertes Trägergas) + 10 sccm  $NF_3$  über 10 Sekunden, 25 mTorr Druck, 1500 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

Durch die durch die Helium- oder Wasserstoffzugabe erreichte Unterdrückung von Profilabweichungen ist es im übrigen ohne weiteres zusätzlich möglich, nun höhere Siliziumätzraten zu erreichen, indem die Leistungsparameter des eingesetzten Plasmaätzprozesses, insbesondere der Plasmaquelle, beispielsweise von 800 Watt auf bis zu 3000 Watt hochskaliert werden.

Durch den erfindungsgemäßen Prozeßgaszusatz von ins-

besondere  $He$  oder  $H_2$  wird schließlich auch die Selektivität zwischen dem Seitenwandpolymerfilmauftrag und Ätzgrundpolymerabtrag während der Ätzschritte dahingehend verbessert, daß der Ätzgrundpolymerabtrag beschleunigt und der Seitenwandpolymerfilmauftrag reduziert wird. Dies ist eine Folge der bevorzugten Ablenkung leichter Ionen zur Seitenwand, während schwere Ionen ungehindert den Ätzgrund erreichen.

Die Zugabe des leichten und leicht zu ionisierenden Gases wie  $H_2$ ,  $Ne$  oder bevorzugt  $He$  wird umso wirksamer, je niedriger die Frequenz der Substratelektrodenspannung an der Substratelektrode ist, da die leichten Ionen aufgrund ihrer geringeren Trägheit zunehmend der elektrischen Feldvariation folgen können. Das Anlegen einer hochfrequenten Substratelektrodenspannung über einen Substratspannungsgenerator (Bias Power) an das zu ätzende Substrat ist an sich bekannt und dient üblicherweise zur Beschleunigung von im Plasma erzeugten Ionen auf das Substrat.

Im erläuterten Beispiel wird die eingesetzte hochfrequente Substratspannung dazu in ihrer Frequenz beispielsweise von üblichen 13,56 MHz auf weniger als 2 MHz verringert. Damit wirkt sich der Massenunterschied des leichten Gasbestandteils im Vergleich zu den übrigen Bestandteilen des Ätzgases besonders stark aus.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens zumindest auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweise ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $ClF_3$ ,  $BrF_3$  oder  $IF_3$  enthält.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material bildendes Gas mindestens ein Gas ausgewählt aus der Gruppe  $SiF_4$ ,  $C_4F_8$ ,  $C_3F_6$ ,  $C_4F_{10}$ ,  $C_3F_8$  oder  $C_2F_6$  zugesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe  $O_2$ ,  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$ , Ar,  $NO_2$  oder  $N_2$  zugesetzt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein das passivierende Material, insbesondere  $SiO_2$  oder ein teflonartiges Material, verzehrendes Additiv, insbesondere  $CHF_3$ ,  $CF_4$ ,  $C_2F_6$ ,  $C_3F_6$ ,  $C_4F_8$ ,  $C_4F_{10}$ ,  $C_3F_8$ , ein Fluoralkan oder  $NF_3$  zugesetzt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht zu ionisierendes Gas, insbesondere  $H_2$ ,  $He$  oder  $Ne$ , zugesetzt wird.
6. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens zumindest auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material, insbesondere  $SiO_2$  oder ein teflonartiges Material, verzehrendes Additiv  $NF_3$  zugesetzt wird.





7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{SF}_6$ ,  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$  enthält. 5
8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material bildendes Gas mindestens ein Gas ausgewählt aus der Gruppe  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$  oder  $\text{C}_2\text{F}_6$  zugesetzt wird. 10
9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{NO}_2$  oder  $\text{N}_2$  zugesetzt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht zu ionisierendes Gas, insbesondere  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$  oder  $\text{Ne}$ , zugesetzt wird. 15
11. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht ionisierbares Gas, insbesondere  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$  oder  $\text{Ne}$ , zugesetzt wird. 20
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{SF}_6$ ,  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$  enthält. 25
13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material bildendes Gas mindestens ein Gas ausgewählt aus der Gruppe  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$  oder  $\text{C}_2\text{F}_6$  zugesetzt wird. 30
14. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{NO}_2$  oder  $\text{N}_2$  zugesetzt wird. 35
15. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein das passivierende Material, insbesondere  $\text{SiO}_2$  oder ein teflonartiges Material verzehrendes Additiv, insbesondere  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ , ein Fluoralkan oder  $\text{NF}_3$  zugesetzt wird. 40
16. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweise ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$  enthält, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material verzehrendes Additiv  $\text{NF}_3$  zugesetzt wird, und daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht ionisierbares Gas, insbesondere  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$  oder  $\text{Ne}$ , zugesetzt wird. 45
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig mindestens ein das passivierende Material bildendes Gas, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$  oder  $\text{C}_2\text{F}_6$  zugesetzt wird. 50
18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{NO}_2$  oder  $\text{N}_2$  zugesetzt wird. 55

